

第一章 烘干基础知识

第一节 热量传递的基本方法

谷物干燥时要蒸发水分，水分的蒸发需要热量，所以热量的传递是干燥过程中的一个重要问题。人们经过长期的实践和研究，发现凡有温度差存在的地方，热量总会自发地由高温物体传向低温物体，或由物体的高温部分传向低温部分。所以，传热是一种非常普遍的自然现象。如用炉灶烧水，燃料（煤、柴禾等）燃烧后的高温烟气很快地将热量传给低温的水，使水沸腾，变成开水。

传递又是一个非常复杂的过程。通常我们将复杂的热交换过程分为三种基本方式：热传导、对流换热和热辐射。为了弄清它们的含义，我们首先考察一下烧水的热传递过程。燃料在炉内燃烧后产生的高温烟气，首先接触锅的外表面，然后通过锅的内表面传给水，使水的温度升高。然而热量从锅的外表面传递给锅的内表面与锅的内表面将热量传递给水是不同的。前者是锅的内、外表面没有发生相对运动，这种传热过程称为导热过程；而后者是锅的内表面和水有相对运动，这样的热量传递称为对流换热。同时，燃料燃烧后通过炉壁表面使周围并没有直接接触的物体（如墙壁、桌椅、人体等）也受热，这种热量传递中就有热辐射。

一、热传导

物体各部分没有发生相对位移，只通过直接接触而发生的热交换现象，叫做热传导，简称导热。

在热传导过程中，热量通过物体时，物体的各部分仍然保持原来的状态。由此可知，热传导只能发生在物体内部和彼此直接接触的物体之间。而且，单纯的导热现象只能在固体中发生。

二、对流换热

依靠液体或气体本身的流动而实现的热传递过程，称为对流换热。

发生在运动流体和与之接触的固体表面之间的各种对流换热过程，又叫做对流放热，简称放热。产生这种放热的原因有以下两种情况：一种是流体因受外力的作用，例如受风机、泵等啣送而产生的受迫对流；另一种是流体内部因温度不均衡形成的密度差而引起的所谓自然或自由对流，如室内的取暖设备向周围空气中散热过程等。

三、热辐射

借助于电磁波来传递热量的现象，称为热辐射。而物体温度只要高于绝对温度（ -273°C ）时，就会产生热辐射。

实际上的传热过程往往是三种基本形式的综合。在目前的干燥技术中，采用以对流换热为主的方式来进行谷物和其它农副产品的烘干是较为普遍的。

第二节 干燥介质的基本特性

在谷物干燥过程中，谷物蒸发出来的水分必须借助某种能容纳水蒸汽的物质将它不断地带走，干燥才能顺利进行，这种物质称为干燥介质。在对流热力干燥过程中，加热

谷物和使谷物中水分汽化所需要的热能，全靠干燥介质以对流换热的方式传给谷物。此时，干燥介质起着载湿体和载热体的双重作用。由此可见，干燥介质在干燥过程中，不但不可缺少，而且干燥介质的状态如何，将直接影响干燥过程。所以，了解干燥介质的基本特性是十分必要的。

一、干燥介质

目前，国内农用烘干机械，应用最普遍的干燥介质是空气、加热空气和炉气。

(一) 空气 不含水蒸汽的空气称为干空气。而自然空气中总含有一定量的水蒸汽，所以，又叫做湿气体。在谷物干燥中，当我们提到空气时，就是指湿气体而言。

(二) 加热空气 加热空气是指空气吸热之后，本身温度升高，贮藏了一定的热能。由于空气本身的温度升高，相对湿度降低，使它具有了一定的吸收外界水分的能力，但其水蒸汽含量没有变化，所以加热空气仍然是一种湿气体。

(三) 炉气 炉气是烟道气和空气的混合物。烟道气是在炉灶中燃烧各种燃料所得的气体，它具有很高的温度，不能直接用来烘干谷物。为了使其温度降低到符合谷物干燥的要求，就需要引入一部分外界空气和它混合。在冬季，通常一公斤烟道气需混合20—25公斤外界空气；夏季，约需混合25—30公斤外界空气。因此在炉气中，烟道气的含量是很少的，只占炉气总重量的3—5%。这种炉气同样是由水蒸汽和干空气组成的混合物，因此它也是一种湿气体。

二、湿气体的状态参数

(一) 温度 表示物体冷热程度的物理量。温度高表示较热的状态，温度低表示较冷的状态。国际上通用的有摄氏温度(℃)和绝对温度(°K)两种表示法。它们之间的关系为：

$$\text{绝对温度 (}^{\circ}\text{K)} = \text{摄氏温度 (}^{\circ}\text{C)} + 273$$

(二) 压力 (压强) 单位面积上所承受的作用力称为压力。湿气体的压力是干空气的分压力与水蒸汽的分压力之和。干燥过程中所用湿空气如是自然界的大气时, 那么, 湿气体的压力就是当地的大气压力。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 标准大气压} &= 760 \text{ 毫米汞柱} \\ &= 10332 \text{ 毫米水柱} \\ &= 1.0332 \text{ 公斤/厘米}^2 \end{aligned}$$

在一定温度和体积的湿气体中, 水蒸汽的含量愈多, 它的分压力就愈大。当湿空气中水蒸汽含量达到最大限度时 (不能再加入水蒸汽, 若要再加, 则被加入的水蒸汽就会凝成水滴), 就称为饱和空气。而饱和空气中的水蒸汽分压力也称为饱和分压力。

(三) 绝对湿度、相对湿度 湿空气的湿度是表明空气中含有水蒸汽量的多少的一个状态参数, 常用绝对湿度和相对湿度两种方法表示。绝对湿度是指空气中实际含有的水蒸汽量, 通常用 1 立方米空气中所含水蒸汽克数来表示。相对湿度是表示当时空气中水蒸汽饱和的程度, 可用空气中水蒸汽的实际含量 (绝对湿度) 占当时温度下空气饱和水蒸汽量的百分比来表示:

$$\text{相对湿度} = \frac{\text{绝对湿度}}{\text{当时空气饱和水蒸汽量}} \times 100\%$$

一般地说, 相对湿度愈大, 就表示愈接近饱和, 空气愈潮湿; 相对湿度愈小, 就表示离饱和程度愈远, 空气也就愈干燥。

(四) 露点 空气中的水蒸汽含量与压力保持不变时, 空气受冷而将要产生水分凝结时的温度称为露点, 它可以用露

点仪测出。当空气温度下降到露点以下时，由于冷凝而沉积在谷物上的水分，一般以水珠状态降聚在谷物上并集中于谷堆的一部分，容易引起霉菌的发展而造成谷物损坏，这种情况对于辅助加热干燥、自然风干及贮藏谷物的通风冷却，都是一个值得注意的问题。

第三节 谷物的干燥特性

谷物干燥是一个复杂的物理化学过程。干燥过程总伴随着湿物体外部和内部能量（热）、水分（质）的交换与转移。当周围空气潮湿时，谷物会吸收空气中的水分而变潮；当周围空气干燥时，谷粒内部的水分扩散转移到谷粒表面，谷粒表面的水蒸汽会跑向空气中，放出水分，因而获得干燥。

一、谷物的发热与霉变

谷物是活的有机体，不断地进行呼吸，分解体内有机物质，产生热能，维持其自身的生命活动。谷物的呼吸作用必须在氧和酶的参加下才能进行。在高温、高湿条件下，谷物中酶的活性增强，呼吸作用由微弱转趋旺盛，营养物质的分解转化加剧，产生较多的热量与水汽，湿热就在谷堆内聚积，使谷物的温度上升和含水量增加，这又反过来促使呼吸作用更加旺盛，因而又产生更多的热量与水汽。

由于湿热在谷堆内聚积，某些微生物也开始发育活动，对谷物的营养物质进行着腐解，产生热量与水汽。于是谷物强烈的呼吸为微生物的发育活动创造更好的条件，微生物的发育活动又进一步促进谷物的呼吸增强。如此循环下去，谷堆内的温度便会超出外界温度而不正常地上升。当谷堆湿热

聚积到一定程度（一般是温度20—25℃以上，谷粒间湿度80%以上）形成了非常适合于微生物大量活跃繁殖的条件，谷物霉变现象即清晰可见。由于微生物的呼吸量很大，同时向体外分泌大量的酶，加速谷物营养物质分解转化，这样就导致了谷堆温度加速上升，谷粒色泽引起变化，散发出浓厚的霉味、酒精味，谷物品质急剧恶化。

从以上谷物发热霉变的形成过程可以了解到，谷物本身的强烈呼吸、微生物的活跃繁殖、酶的作用等是使谷物发热霉变最根本的内在因素；而酶的活性又和谷物的含水量密切相关。这就是高水分谷物为什么要通过干燥处理，使水分含量降低到安全水分以下的原因。

二、谷物的水分与表示方法

谷物的主要成分有水分、糖类、脂类、蛋白质及其它含氮物质，此外还有少量的矿物质、维生素、酶及色素等。

水分是谷物新陈代谢作用的介质。就一个单独的谷粒来讲，从表面到内部分布着很多直径约为1微米互相沟通的大毛细管，大毛细管又分出很多直径为1毫微米的微毛细管，这些微毛细管彼此贯通或由半透性膜相隔。外界水蒸汽分子首先通过谷物的外部扩散到谷粒的表层上，然后再被毛细管吸附扩散到内层，一部分和亲水胶体（主要是蛋白质、糖类等）紧密结合而成结合水，一部分留在毛细管内成为游离水。结合水在0℃下不会结冰，也不容易蒸发出来，而游离水却有水的性质，既可在0℃下结冰，也容易蒸发出来。谷物干燥中主要是去掉游离水。

谷物含水量的多少，通常也称为水分的大小。一般把谷物看成是由谷物的干物质和水的机械混合物组成。在谷物干燥中，谷物水分的大小有两种表示方法。

(一) 干基水分表示法 谷物中的水分含量与其干物质重量比值的百分率称为干基水分。

$$\text{谷物中干基水分} = \frac{\text{谷物中水分重量}}{\text{谷物中干物质重量}} \times 100\%$$

因为在谷物干燥技术中，谷物中干物质的重量是不变的，谷物干基水分的大小变化，只能随着谷物中水分的多少而改变。因此，这种水分表示法多用于科学试验中。

(二) 湿基水分表示法 谷物中水分重量与其总重量比值的百分率称为湿基水分。

$$\text{谷物中湿基水分} = \frac{\text{谷物中水分重量}}{\text{谷物的总重量}} \times 100\%$$

这种水分表示法通常用于烘干和贮藏业务换算。我们平常所说的谷物水分的大小，在不附加说明的情况下，泛指谷物的湿基水分。

例：有一批粮食，总重 1000公斤，其中水分 200公斤，这批粮食的湿基水分就是 20%，也就是我们通常所说的水分是 20%。

三、谷物的平衡水分

平衡水分是指谷物放置在空气中，既不吸收水分也不放出水分时的含水量。

谷物在干燥过程中，水分是以汽态和液态两种形式，由谷粒内部沿毛细管向谷粒表面转移的。当谷粒表面水蒸汽的分压力大于外界空气（干燥介质）中的水蒸汽分压力时，粮食中的水分便逐渐向空气中扩散，即谷物的水分下降。如果谷物表面水蒸汽的分压力小于外界空气中水蒸汽的分压力，谷物就要从空气中吸收水蒸汽，谷物的水分就会逐渐增加。当谷物在某一特定相对湿度的空气中经过一定的时间后，谷

物表面的水蒸汽分压力与空气中水蒸汽的分压力差值等于零时，谷物从空气中吸收的水蒸汽量与其扩散到空气中的水蒸汽量相等，达到了动平衡状态，常将此动平衡状态下的谷物水分叫做谷物的平衡水分（见表1-1）。

表:1-1 在不同温度下谷物含水率与空气相对湿度的平衡

项 目	温度	空气相对湿度 (%)							
	(°C)	20	30	40	50	60	70	80	90
稻 谷 稻 米 玉 米 黍 小 麦 大 麦 大 豆	20	7.5	9.1	10.4	11.4	12.5	13.7	15.2	17.6
		8.0	9.6	10.9	12.0	13.0	14.6	16.0	18.7
		8.2	9.4	10.7	11.9	13.2	14.7	16.9	19.2
		7.8	9.1	10.5	11.6	12.7	14.3	15.9	18.3
		7.8	9.2	10.7	11.8	13.1	14.3	16.0	20.0
		8.3	9.5	10.9	12.0	13.4	15.2	15.7	20.5
		5.4	6.5	7.1	8.0	9.5	11.6	15.3	20.9
稻 谷 稻 米 玉 米 黍 小 麦 大 麦 大 豆	30	7.1	8.5	10.0	10.9	11.9	13.1	14.7	17.1
		7.6	9.2	10.6	11.6	12.5	13.9	15.4	17.7
		7.9	9.0	10.1	11.2	12.4	13.9	15.9	18.3
		7.2	8.7	10.2	11.0	12.1	13.6	15.3	17.7
		7.4	8.8	10.2	11.4	12.5	14.0	15.7	19.3
		7.6	9.3	10.4	12.2	13.2	14.3	16.6	19.1
		5.0	5.7	6.4	7.2	8.9	10.6	14.5	20.2

由此不难看出，谷物的平衡水分与空气中水蒸汽的分压力有关，也就是与空气的相对湿度有关，即在一定范围内，当环境温度不变时，空气的相对湿度愈大，平衡水分也就愈高。同时，谷物的平衡水分与空气的温度也有关：在同一相对湿度下，温度高，平衡水分低；温度低，平衡水分高。在一定的条件下，谷物的平衡水分还因作物种类的不同而略有差异。从表 1-1可以看出 在谷温20 和空气相对湿度为 60—

70%的条件下，大部分谷物的平衡水分与国家对于征购、销售、调拨、储运、加工和出口商品谷物规定的标准水分很相近（见表1-2）。

表1-2 国家规定的三种谷物水分标准

项 目		水分(%)
小 麦	春 麦	13.5
	冬 麦	12.5
稻 谷	早籼、晚糯	13.5
	早粳、晚籼	14.0
	晚 粳	15.5
	粳 糯	15.0
玉 米	一般地区	14.0
	东北、内蒙古、新疆地区	18.0

总之，平衡水分的高低，意味着谷粒吸收和放出水分的难易。平衡水分低，较易放出水汽，平衡水分高，较易吸收水汽。平衡水分的高低又依环境温、湿度为转移。谷粒的这一重要特性，不仅提示我们贮粮中应充分注意环境空气温、湿度的变化，也对我们在研究干燥方法上提供了依据。

四、谷物的导热性与导温性

谷物传导热量的能力，称为谷物的导热性，通常以导热系数来衡量。谷物是由于物质和水分组成，谷物的传热当然与其所含水分有密切关系。在干燥中，谷物以堆谷或层谷的形式出现时，谷粒间又充满了大量空气，此时，其导热性又与空气有关。所以，谷物中的热传导是一个复杂现象。实验表明：高水分谷物传热快；谷堆中的空气愈少，传热愈快；单粒谷物的导热性比堆谷的导热性好。

导温性是衡量谷物受热后传导温度能力的参数，常用导温系数表示。谷物的导温系数随谷物的导热系数增加而增加，单粒谷物的导温系数比堆谷的导温系数大 2—3 倍。因此，谷粒比堆谷更容易受热导温，有利于干燥过程的进行。

第四节 谷物的干燥机理

谷物干燥就是根据平衡水分的原理，升高干燥介质的温度，降低干燥介质的相对湿度，增加干燥介质的流速，使谷物放出水分，达到干燥的目的。

一、干燥过程

谷物在干燥过程中，其内部的水分总是从含量高的部位向含量低的部位转移的，这种现象叫湿传导。在对流热力干燥过程中，由于谷粒表面水分汽化，水分降低，这样就造成谷粒中心和表层之间各层水分含量的差异。有由内层至外层逐渐减少的趋势，即水分由内层朝外层转移。同时，在干燥过程中，由于谷粒表面先受热，谷粒表面温度比中心温度高，从而引起热量的转移，其方向是从谷粒外部指向内部。随着热量的传递，又会引起谷物中的水分从较热的地方向较冷的地方转移，即水分由外层朝内层转移，这一现象称为温湿传导。在对流热力干燥中，温湿传导的存在是不利于水分由内部向外部转移的，在低温干燥时，由于温度较低，温湿传导的影响也就小得可以忽略不计。这时谷粒内部水分的转移主要还是取决于湿传导。但在高温干燥时（特别是气流干燥），温湿传导对于谷粒内部的转移就有很大影响。

谷物是胶体毛细管多孔物体。在干燥过程中，首先除去

谷粒表面附着的水分，因为这部分水分处于游离状态与谷物本身结合很松，最容易和谷物分离。当谷物表面水蒸汽分压大于周围空气中水蒸汽分压形成压力差时，谷粒表面水分就进行汽化，内部水分就沿毛细管向表面扩散、补充。水分愈高，毛细管愈粗，水分扩散愈保持连续性，也便于内部水分沿毛细管的扩散。所以高水分谷物在烘干时，可用较少的能耗除去较多的水分。随着干燥过程的进行，毛细管愈来愈细，甚至孔径收缩、消失，造成水分扩散道路的失去，水分进一步降低就得经过曲折的途径向外扩散，水分汽化速度减慢。因此谷物在烘干时，降水速度不能太快，谷物的加热温度不能过高；否则会使谷粒外部水分转移太快，内部水分来不及转移出来，造成谷粒外部毛细管收缩，水分转移道路封闭，使谷粒表层硬结，成为内部水分向外扩散的很大阻力。表层硬结不仅使进一步干燥变得困难，并且容易造成谷物品质的劣变。

通常把谷物的干燥过程划分为三个阶段，即预热阶段、等速干燥阶段、降速干燥阶段。

谷物开始受热，谷温上升，而谷物的水分还不下降或下降很少，这个短时间称为谷物的预热阶段。

谷物表面水蒸汽分压处于和谷温相适应的饱和状态，所有传给谷物的热量都用于水分的汽化，谷温保持不变，甚至略有下降，此时称为等速干燥阶段。

当谷物表面水分低于内部水分，谷物表面温度高于内部温度时，谷物的干燥速度便降低，进入降速干燥阶段。随着干燥过程的进行，谷物干燥的速度越来越慢。当干燥速度降到零时，达到该干燥条件下谷物的平衡水分，此时谷物的温度可升至与热空气相等的温度。

二、热力干燥条件

谷物的热力干燥就叫做烘干。烘干作业中，既要保证谷物的品质，又要实现较优的经济效益。因此，必须根据不同的烘干对象，选择合适的干燥条件，达到谷物干燥的目的。

谷物干燥条件是指影响干燥过程的各种主要因素的总和。谷物在干燥过程中，温度升高，水分降低。温度和水分的变化，将对谷物品质产生一系列影响。当谷物水分一定时，谷物的种用品质、食用品质和加工品质的变化，主要决定于最高加热温度，也就是取决于谷物的耐温性，而谷物的耐温性与其籽粒结构和化学成分有关。同时，谷物原始水分的大小、加热时间的长短，都会对干燥条件的选择和谷物品质产生影响。

在当前生产中，选择热力干燥条件，主要依据谷物种类、成熟度、原始水分和谷物用途来确定。不同的谷物由于其结构与成分不同，其热力干燥条件就不同；同一种谷物其用途不同，成熟度和原始含水量不同，热力干燥条件也就不同。一般情况下，成熟不好和原始含水量大，选用加热温度应偏低；相反，加热温度可较高。

三、提高干燥速度的措施

在干燥谷物的过程中，为了提高干燥速度，常采用下列两项措施：一是加热，二是通风或排气。

(一) 加热 谷物通过干燥介质加热升温后，能加速谷物内部的水分向外扩散及蒸发；干燥介质加热升温后，可以降低干燥介质的相对湿度，从而增大了它的吸收水蒸汽的能力（即容水性）。一般温度每升高 1°C 其相对湿度降低4.5%；当温度升高 11°C 时，相对湿度几乎可降低50%。上述两方面的综合，必然提高干燥速度。但是，加热的温度必须在谷物

品质所允许的范围内。

(二) 通风或排气 利用通风或排气(抽风)的方法来提高干燥速度,各种干燥设备都有采用。在利用加热气体进行干燥的过程中,由于干燥介质既是载热体,又是载湿体,因此干燥介质的流速越大,干燥速度就越快。不过,这不等于说干燥介质的流速越大越好。因为流速过大,排气温度就越高,因而增大了排气的余热损失。为了提高经济性,必须考虑减小排气的余热损失。排气温度也不能过低,因为排气温度过低,排气的相对湿度就很大,很可能使排气口附近的谷物不是被干燥,而是被增湿。干燥介质的流量以能及时带走所蒸发出来的水蒸汽为宜,如果干燥介质流量过小,谷物蒸发出来的水蒸汽不能被及时带走,使谷物表面与干燥介质中的水蒸汽压力差减小,从而减慢干燥速度;如干燥介质流量过大,虽然能及时带走谷物蒸发出来的水蒸汽,但由于进入烘干机前的干燥介质流量大,热风温度上不去,必然会降低谷物的温度,影响谷物本身蒸发水分的能力,也使排气热损失增大。因此,干燥介质的流量过大或过小都不适宜。

第五节 谷物干燥效果检验 和经济核算

怎样鉴定烘干后谷物的品质,评价烘干设备的经济技术性能?本节介绍一些简便方法及衡量指标。

一、烘干后谷物品质的测定

(一) 水分的测定 谷物水分的测定,一般在烘干前、烘干过程中和烘干以后,都要及时地进行测定。特别是在烘干过程中,必须进行多次测定,而且要求迅速准确,否则将会

引起谷物品质的变化。目前，测定谷物水分的仪器和方法很多，常用的有烘干减重测定法、电子水分测定法及感官判断法。

1. 烘干减重测定法。包括用电烘箱、隧道式烘箱的测定等。它的特点是测定数据准确，是国家规定的测水法，但在测定过程中程序比较复杂、操作时间长。

2. 电子水分测定法。电子水分测定法的设备种类较多，各地均有制造。总的分为电阻式、电容式和微波式三大类。以电阻式、电容式制造与应用较为广泛。这种水分测定方法的特点是：设备操作简单，测定速度快（可短到一分钟或几十秒钟），适宜于烘干过程中的水分测定。但电测仪应经常同标准法进行校正。

（二）小麦面筋率 在粉碎过筛后的样品中，用感量为十分之一克的天平称取20克试样，倒入器皿中加入20 清水 10 毫升，用玻璃棒搅拌，并用手将面团充分揉成球形，直至所有面粉不粘器皿为止。放入 20 的水中浸泡 20分钟，然后另用20℃清水 1升倒入盆中，盆中放入 80目的筛子，将面团放在筛上揉搓。在洗涤过程中换清水 3—4 次，直至从面筋内挤出的水加入一滴碘溶液（0.2克碘化钾或0.1克碘结晶溶于100克蒸馏水内），经半分钟无蓝色反应为止。将洗好的面筋挤去水分直至稍感粘手为止，放入器皿中称重，而后再洗 5分钟重新称重，前后两次重量差不得大于 0.1 克，以此重量计算面筋率：

$$\text{湿面筋率} = \frac{\text{湿面筋重量}}{20} \times 100\%$$

（三）爆腰率 谷物的爆裂称为爆腰。爆腰率的测定方法是：在烘后谷物中取出 100粒完整的籽粒，在常温下密封保

持48小时以后取出，在爆腰灯（或亮光）下观察，凡有裂纹的籽粒均属爆腰。爆腰粒数即为爆腰率百分数。

（四）脱壳、破碎率 随机取出烘后谷物样品 100 克，拣出已脱壳谷粒（包括已脱壳碎粒），称得重量克数，即为脱壳率。拣出压扁、压碎及机械损伤的籽粒，称得重量克数，即为破碎率。

（五）色泽、气味 用感官鉴定色泽、气味是否正常，凡具有谷物固有色泽、无异味的均为正常。

（六）种子发芽率 烘干后的谷物如作种子用，必须进行发芽率的测定，而食品粮和饲用谷物可不进行此项工作。

测定的方法是取出烘干后谷物 100 粒，用温水浸后放在发芽皿的湿过滤纸上，并在器皿上注明样品编号及置床日期。在发芽试验期间，每天检查温度（20℃）两次；恒温箱内相对湿度90—95%。国家规定发芽率标准为大于90%，计算如下：

$$\text{发芽率} = \frac{\text{10天内发芽粒数}}{\text{试验粒数}} \times 100\%$$

二、烘干机性能指标及计算方法

烘干设备性能指标与被烘物原始含水率和降水幅度有直接关系。因此，单独使用某项指标时，必须加注被烘物烘干前与烘干后的含水率。

（一）降水幅度

$$\text{降水幅度} (\%) = \text{干燥前谷物水分} (\%) - \text{干燥后谷物水分} (\%)$$

（二）降水率 每批（或一定数量）谷物每小时降水百分数。

$$\text{降水率} (\% / \text{小时}) = \frac{\text{降水幅度} (\%)}{\text{干燥延续时间} (\text{小时})}$$

(三) 总排水量

$$\text{总排水量 (公斤)} = \frac{\text{降水幅度 (\%)}}{100 - \text{干燥后谷物水分 (\%)}} \times \text{干燥前谷物重量 (公斤)}$$

(四) 热耗 蒸发 1 公斤水所消耗的热量。

$$\text{热耗 (千卡 / 公斤水)} = \frac{\text{燃料耗量 (公斤)} \times \text{燃料低热值 (千卡 / 公斤)}}{\text{总排水量 (公斤)}}$$

(五) 能耗 蒸发 1 公斤水所消耗的机械能和热能的总和。

$$\text{能耗 (千卡 / 公斤水)} = \text{热耗} + \frac{\text{电耗量 (度)} \times \text{电热值 (千卡 / 度)}}{\text{总排水量 (公斤)}}$$

电热值通常取 860。

三、谷物烘干成本的核算

使用烘干设备要进行成本核算，也作为合理收费的依据。烘干成本应由燃料费、电费、人员工资费、设备维修费及折旧费等项组成。为了便于分析，将成本分为作业成本和总成本，均以每吨谷物降 1% 水分为计算单位，计算方法如下：

$$\begin{aligned} \text{作业成本} &= \frac{\text{燃料费 (元)} + \text{电费 (元)} + \text{操作人员及辅助人员工资 (元)}}{\text{总处理量} \times \text{降水幅度 (\%)}} \\ &\quad \times (\text{元 / 吨} \cdot 1\% \text{水}) \\ \text{总成本} &= \frac{\text{燃料费 (元)} + \text{电费 (元)} + \text{工资 (元)} \\ &\quad + \text{维修费 (元)} + \text{折旧费 (元)}}{\text{总处理量} \times \text{降水幅度 (\%)}} \\ &\quad \times (\text{元 / 吨} \cdot 1\% \text{水}) \end{aligned}$$

复 习 思 考 题

1. 什么叫热传导、对流换热和辐射换热？它们各有什么特点？
2. 什么叫干燥介质？在对流热力干燥中，干燥介质起哪些作用？
3. 什么叫湿气体？加热空气是什么气体？
4. 当温度达到 43.5°C 时，绝对温度是多少？
5. 什么叫相对湿度？它的数值能大于 1 吗？
6. 谷物霉变的主要原因是什么？
7. 谷物的水分有几种表示方法？烘干作业中常用的谷物水分是指哪一种？
8. 什么叫平衡水分？
9. 简述谷物的干燥过程。